

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-167189

(P2003-167189A)

(43) 公開日 平成15年6月13日 (2003.6.13)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 13/00
13/18

識別記号

F I

G 0 2 B 13/00
13/18

テームコード (参考)

2 H 0 8 7

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-118489 (P2002-118489)

(22) 出願日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(31) 優先権主張番号 特願2001-290001 (P2001-290001)

(32) 優先日 平成13年9月21日 (2001.9.21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004329

日本ビクター株式会社

神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番
地

(72) 発明者 糸長 誠

神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番
地 日本ビクター株式会社内

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外8名)

Fターム (参考) 2H087 KA13 LA01 PA01 PA17 PB01

QA02 QA07 QA14 QA34 RA05
RA12 RA13

(54) 【発明の名称】 光ディスク用対物レンズ

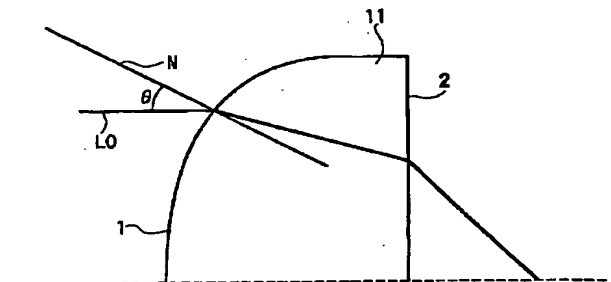
(57) 【要約】

【課題】 開口数が0.75以上で、軸上収差、軸外収差と面間の偏芯収差にすぐれた、両面非球面の単レンズによる光ディスクの対物レンズを提供する。

【解決手段】 両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、対物レンズ11の中心厚さ t と焦点距離が次の式

$$t > (1 + E) f$$

を満たし、かつ、最大高さの光線 L_0 が入射する点における第1面1の法線 N と光軸の成す角が55度、56度又は57度の何れか一つの角度以下であり、 E は、0以上の数である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、軸上厚さ t と焦点距離 f が次の式を満たし、

$$t > (1 + E) f$$

かつ、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角が55度、56度又は57度の何れか1つの角度以下である光ディスク用対物レンズ。ここに、 E は、0以上の数である。

【請求項2】 両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、軸上厚さ t と焦点距離 f が次の式を満たし、

$$t > (1 + E) f$$

かつ、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角 θ が次式を満足する光ディスク用対物レンズ。

$$\theta < \alpha - (0.85 - NA) / 0.15 \times 7.1 \text{ (度)}$$

ここに、前記 NA は、最大高さの光線による開口数であり、前記 α は、55度、56度又は57度の何れか1つであり、 E は、0以上の数である。

【請求項3】 結像倍率が0である請求項1又は請求項2に記載の光ディスク用対物レンズ。

【請求項4】 波長450nm以下の光源に適合して設計された請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の光ディスク用対物レンズ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、大容量光ディスクを実現する高い開口数（ NA ）を有する光ディスク用対物レンズに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、 CD ディスクは、開口数（ NA ）が0.45～0.5の対物レンズを用い、780nm程度の波長を有するレーザー光で読み取り又は書き込みされている。また、 DVD ディスクは、開口数が0.6程度の対物レンズを用い、650nm程度の波長を有するレーザー光で読み取り又は書き込みが行われている。

【0003】 ところで、光ディスクの容量を上げるために、より短い波長の光源とより高い開口数を有するレンズを使用する次世代光ディスク・ピックアップシステムの開発が進められている。

【0004】 そして、より短い波長を有するレーザーとしては、波長が約400nmのいわゆる青色レーザーが考えられている。

【0005】 前記高い開口数を有する対物レンズとしては、例えば以下のシステムが報告されている。

【0006】 (A) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39(2000) pp. 978-979 M. Itonaga et al. "Optical Disk System Using High-Numerical Aperture Single Objective Lens and Blue LD".

(B) Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39(2000) pp. 937-942 I. Ichimura et al. "Optical Disk Recording Using a GaN Blue-Violet Laser Diode".

ここに、(A)は、開口数が0.7の単レンズを用いたシステムを報告し、(B)は、開口数が0.85の2群レンズを用いたシステムを報告する。

【0007】 これらは、高 NA 化によるシステム余裕の低下に対処するために、ディスクの透過層の厚さを、 CD の1.2mm又は DVD の0.6mmから薄くしていることが別の特徴である。透過層の厚さは、(A)によれば0.12mmで、(B)によれば0.1mmである。システムの余裕度の分配の仕方にもよるが、概ね0.3mmより薄い透過層であることが望まれている。

【0008】 前記(B)の2群レンズを用いたシステムは、開口数は(A)に比べて大きいものの、組立工程に必要な上にレンズが2枚必要ことから、量産性に劣り且つコストも高くなる。

【0009】 そこで、次世代システムには、開口数が0.7以上の単レンズによる光ディスク用対物レンズが望まれている。

【0010】 特開平4-163510号公報には、開口数が0.6～0.8程度の単レンズを用いた対物レンズが記載されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】 高い開口数を有するレンズの設計が可能であることは、従来から知られている。たとえば、「特に口径比の大きい非球面アplanar・レンズに関する研究」（吉田正太郎、東北大学科学計測研究所報告、1958年3月）には、高い開口数を有する両面非球面レンズの設計法が詳しく記されている。

【0012】 しかしながら、単に設計が可能と言うだけでは、高い開口数を有するレンズを製作することが出来ない。このようなレンズを実際に製作するためには、製造公差が確保された設計である必要がある。またさらに、光源の波長が変動した場合、あるいは波長に幅がある場合の影響を低減するために、色収差の影響が少ないレンズである必要がある。

【0013】 ここで両面非球面レンズの場合、最も厳しく、かつ重要な製造公差は、面と面の間の偏芯（面間偏芯）である。したがって、対物レンズへの垂直入射の場合の収差である軸上収差と、斜め入射の場合の収差である軸外収差に代表される対物レンズの設計性能と、製造公差を同時に満足する必要がある。

【0014】 しかし、レンズの設計性能と製造公差は、とりわけ、開口数が0.75より高いと、両立することが難しくなる。

【0015】 実際、このような両面非球面のレンズでは、軸外収差は、前述の製造公差を考慮せずに設計した場合でも開口数が上がるにつれ劣化し、製造公差を考慮

するとさらに悪くなる。すなわち、偏芯公差を大きく確保するためには、軸上収差と軸外収差を犠牲にする必要がある。

【0016】軸上収差は、偏芯公差を考慮してもわずかに劣化するだけであるが、軸外収差は、開口数が0.6を超えるような高い開口数を有するレンズにおいては、製造が可能になるミクロンオーダーの製造公差を確保するとかなり犠牲になる。

【0017】また色収差に関しては、レンズ自体が製造できることがまず優先されるため、製造公差を満足しつつ、出来るだけ色収差特性の良いレンズ形状とする必要がある。

【0018】前述のような理由で、性能が良い両面非球面レンズの形状の探索が従来からなされ、種々の文献が報告されている。特開平5-241069号公報、特開平4-163510号公報は、その一例である。

【0019】特開平4-163510号公報には、性能が良好なレンズの形状範囲が記載されている。しかしながら、この文献では、偏芯公差の確保について言及されていない。開口数が唯一0.75を超える実施例2のレンズ（波長が532nmで、開口数が0.8の仕様）では、僅かな偏芯でも大きな収差が発生するという問題点があった。また、色収差に関しての記述はない。

【0020】さらに、これらの先行文献の示す範囲はかなり広く、これらの範囲において、良いレンズを実際に設計することが必ずしも出来ないという問題点があった。

【0021】本発明は、前述の課題に鑑みて提案されるものであって、開口数が0.75以上で、軸上収差、軸外収差と面間の偏芯収差にすぐれ、かつ色収差特性も優れた両面非球面の単レンズによる光ディスク用対物レンズを提供することを目的とする。

【0022】

【発明を解決するための手段】 前述の課題を解決するために、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角が所定の角度以下である。前記所定の角度は、57度が好ましく、56度がより好ましく、55度がさらに好ましい。

【0023】さらに、レンズの軸上厚さと焦点距離が次の式を満足する。

$$【0024】 t > (1 + E) f$$

ここにfは焦点距離、tはレンズの軸上厚さである。Eは、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらに好ましくは0.2である。

【0025】また、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数が0.75以上の単レンズであって、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角 θ が次式を満足する。

【0026】

$\theta < \alpha - (0.85 - NA) / 0.15 \times 7.1$ (度)
ここに、前記NAは、最大高さの光線による開口数である。前記 α は、57度が好ましく、56度がより好ましく、55度がさらに好ましい。

【0027】さらに、レンズの軸上厚さと焦点距離が次の式を満足する。

$$【0028】 t > (1 + E) f$$

ここにfは焦点距離、tはレンズの軸上厚さである。Eは、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらに好ましくは0.2である。

【0029】好ましくは、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、結像倍率が0である。すなわち、この対物レンズは、少なくとも誤差なく製造されていて、かつ光源の波長が基準波長と一致している場合、平行光を集光することが好ましい。

【0030】また、好ましくは、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、波長450nm以下の光源に適合して設計される。

【0031】本発明は、DVDディスク、CDディスクより薄い透過層、とりわけ、0.4mm以下の厚さを有する光ディスクに対して、良好な特性を有する。

【0032】本発明において、焦点距離fは、好ましくは10mm以下であり、さらに好ましくは3.5mm以下である。

【0033】すなわち、光束の大きさ（直径） ϕ は、次の式によって与えられ、開口数（NA）と焦点距離fに依存する。

$$【0034】 \phi = 2 \times NA \times f$$

焦点距離が10mmでNAが0.75のとき、 $\phi = 15$ mmとなる。この直径は、多くの光ピックアップ装置が $\phi < 5$ mm程度の光束を用いていることから比べると、大きいといえる。従って、焦点距離は10mm以下であることが望まれる。さらに、 $\phi = 5$ mmとすると、NA=0.75でf=3.33mmであることから、焦点距離が3.5mm以下であることがさらに望ましい。

【0035】また、焦点距離は、好ましくは0以上であることが好ましく、さらに好ましくは0.2mm以上である。

【0036】すなわち、作動距離は、光ディスクの厚さに依存し、薄いディスクでは大きくなる。薄いディスクを用いて、焦点距離が短く超小型なレンズを非常に短い作動距離で使用するシステムが考えられる。例えば、ディスクを表読み構造とすれば、焦点距離が0.1mmであっても、レンズの設計が可能である。したがって、焦点距離の下限としては、 $f > 0$ であればよいことになる。ただし、実際には、あまりに小型なレンズを製造する手段は現時点では、確立されていない。この点を考えると、 $f > 0.2$ mm程度が現状の下限ともいえる。

【0037】好ましくは、レンズ厚さtの上限は、次の

式によって規定される作動距離 d_w を正にするように定める。

【0038】 $d_w = f_b - d / n'$

ここで、 d は光ディスクの厚さであり、 n' は光ディスクの屈折率である。 f_b は、次の式で規定される。 R_1 は、前述の式によって規定されている。

【0039】 $f_b = f(1 - t(n - 1) / n / R_1)$

すなわち、レンズが厚くなると、作動距離が短くなるが、レンズとして成立するためには、作動距離が有限である必要がある。したがって、レンズ厚さの上限は、作動距離が有限な値である範囲になる。この範囲は、レンズの焦点距離と、厚さと、ディスクの厚さで決まる。

【0040】レンズの厚さの範囲は、例えば1.5mm以上、3.5mm以下に設定することができる。

【0041】本発明は、前述の光ディスク用対物レンズを備える光ピックアップ装置に適用することができる。好ましくは、光ピックアップ装置は、前記光ディスク用対物レンズを用いて、光ディスクのトラックに沿って光束を集光して照射し、情報信号の記録又は再生を行う。好ましくは、光ピックアップ装置の結像倍率は0である。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る光ディスク用対物レンズの実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0043】まず、本実施の形態の光ディスク用対物レンズが満たす各条件式の説明に先立ち、本実施の形態のレンズの設計に関して基本的な軸上収差特性、軸外収差特性、偏芯公差のバランスについて説明する。ここで、偏芯公差とは、偏芯がある場合の波面収差の増加で定義される。

【0044】本実施の形態では、軸上収差、軸外収差及び偏芯公差を確保するために、次の3つの条件のバランスを取ることが要請される。

【0045】(1) 軸上収差を確保するため、レンズの球面収差が補正されていること。

【0046】(2) 軸外収差を確保するため、レンズが正弦条件を満たしていること。

【0047】(3) 偏芯公差を確保するため、第2面が単独で正弦条件を満たしていること。

【0048】さらに加えて、色収差特性の低下を防ぐために、次の条件を満たすことが求められる。

【0049】(4) 波長誤差がある場合の各波長での最良像面の収差増加が小さいこと。

【0050】これを、波長誤差による球面収差と呼ぶ。

【0051】(5) 光源に、波長揺らぎがある場合の収差増加を押さえるために、波長変化による焦点位置の変化が小さいことが要請される。波長揺らぎは、半導体レーザーのノイズ特性の改善を図るために、レーザーに高周波重畳をかけてマルチモードとした場合に生じる。こ

こで波長変化で焦点距離の変化が小さいとは、軸上色収差を小さいことが要請されることを意味している。

【0052】以下、まず軸上収差と軸外収差を確保するレンズの基本形態を詳しく説明し、その後色収差特性の良いレンズ系対の説明を行う。

【0053】両面非球面レンズは、軸上収差及び軸外収差を確保するための条件(1)と(2)の2つを同時に満たすことが出来る。条件(1)と(2)を同時に満たすレンズをアプラナートと呼ぶ。

【0054】しかし、一般に、条件(1)及び(2)を満たしていると、偏芯公差を確保するための条件(3)を満たすことは出来ない。

【0055】一方、条件(2)と(3)が満たされると、レンズ全体が正弦条件を満たし、かつ第2面も正弦条件を満足することから、第1面においても光線高さと屈折角の関係において正弦条件が満足される。

【0056】本実施の形態においては、軸上収差及び軸外収差を確保するための条件(1)と(2)、偏芯公差を確保するための条件(3)のバランスを取り、ほぼ満足されている条件(3)の満足を案分することで、軸上収差及び軸外収差を確保しつつ、レンズの製作が可能になる偏芯公差を確保することが可能である。

【0057】前記した「特に口径比の大きい非球面アプラナート・レンズに関する研究」(吉田正太郎、東北大学科学計測研究所報告、1958年3月)によると、両面非球面レンズに関して、焦点距離を一定にして、レンズ半径をベンディングして変化させた場合、かなり広い頂点半径の組み合わせの範囲で、条件(1)と(2)を同時に満足するレンズが得られることが明らかにされている。

【0058】さらに、田中康宏「アプラナティック単レンズ設計とディスク光学系への応用」、光学27、12(1998)p720によれば、面間の偏芯に強いレンズは、条件(3)を満足することが示されている。

【0059】ここで、条件(1)と(2)を満足する非球面レンズの設計の中で、条件(3)を満足するものがあれば、偏芯公差に強いレンズと言える。しかしながら、前記したようにこれらを同時に完全に満足することはできない。これは、3個の条件に対して、レンズの設計自由度が非球面2面しかないためで、2個の設計自由度であるためである。

【0060】さらに、本願の発明者の解析によれば、開口数が大きくなればなるほど、条件(1)～(3)について完全性からの乖離が大きくなることが判明している。

【0061】実際、従来のDVDディスク用の開口数が0.6のレンズ又はCDディスク用の開口数が0.45のレンズの程度であれば、開口数が低いため、頂点半径の設定をかなり広い範囲で変化させても収差の増加は少なく、軸上収差と軸外収差の間のバランスを容易に取る

ことが出来る。すなわち、どの半径を出発点としても、軸外収差または軸上収差を僅かに犠牲にすれば偏芯公差を大きく出来る。

【0062】これに対して、開口数が上がり、波長が短くなると、収差は波長に反比例して大きくなるので、設計上の余裕がなくなる。そこで、このようなレンズに対してはより厳密に形状（近軸形状）を定める必要性があった。

【0063】非球面形状を僅かに変更して偏芯公差を増加させることも可能で、この場合は、軸上収差または軸外収差の劣化が避けられないが、製造公差が充分大きい実用的なレンズを得るためには重要な点である。

【0064】これは、別の言い方をすると、軸上収差と軸外収差を適切に劣化させることで、偏芯公差を確保するためのバランスを取って設計を行うと言える。さらに別の言い方をすると、前記の3つの条件（1）～（3）の満足度合いを、案分する作業とも言える。

【0065】そして、このように非球面形状を探索する際には、第1面の最大光線高さでの面の法線と光軸と成す角（以下、単に入射角と言う。）が、所定の条件式を満足していなければ、偏芯公差、軸外収差または、軸上収差の増大を招き、収差間のバランスをとった設計が出来ない。このことについて、以下に詳細に説明する。

【0066】本願の発明者は、条件（1）と（2）を略完全に満足するアプラナートであって、条件（3）の満足度が出るだけ高くなるようなレンズを多数設計し、レンズの焦点距離、レンズの厚さ、レンズの硝材の屈折率を様々に変化させて検討した。この結果、最大高さの光線のレンズの第1面への入射角度が、軸上収差、軸外収差および偏芯時の収差の関係を支配していることを見出した。なお、レンズの設計波長は、450nm以下が好ましく、具体的には405nmである。

【0067】図1は、レンズにおける幾何的な関係を示す図である。

【0068】光軸に平行に対物レンズ11の第1面1に入射した最大高さの光線L0と、この光線が入射する点における第1面の法線Nは、入射角 θ をなしている。

【0069】図2は、最大高さの光線の第1面への入射角と収差特性の関係を示す図である。図2のAは、0.5度の斜め入射光線に対する軸外収差であり、第1面の入射角が増加すると増大する。図中において、符号◆は1.55、符号◇は1.65、符号△は1.75、符号○は1.8、符号□は1.85の硝材の屈折率を表している。

【0070】図中のBは、面間の偏芯が3 μ mの場合の収差である。図中において、符号■は1.55、符号×は1.65、符号△は1.75、符号□は1.8、符号◆は1.85の硝材の屈折率を表している。

【0071】図によると、収差の増加は、レンズの焦点距離、レンズの厚さ、レンズの硝材の屈折率などのレン

ズの設計仕様と、非球面係数の近似方法など設計の個体差によって多少の幅があるが、第1面の入射角に対して略リニアであると言える。なお、軸上収差は、どの場合も良好に補正されていて、収差は0.006 λ 以下である。

【0072】この関係は、一般的な関係である。すなわち、ガラスの屈折率やレンズの厚さが異なっても、あるいはそのために第1面の頂点における半径が異なっても、前記した角度が等しければ同等の収差特性になる。

【0073】ここで、偏芯公差と軸外収差が良好なレンズを得るために、3 μ m偏芯時の収差が0.04 λ 以下であり、0.5度の斜め入射に対する軸外収差が0.03 λ 以下のレンズ形状を基に、前記した条件（1）～（3）を案分して設計する必要がある。

【0074】ここでいう案分とは、前述のように、例えば偏芯公差を確保する代わりに、軸外収差又は軸上収差を多少犠牲にするように、条件（1）～（3）のバランスをとることである。

【0075】前述したように、本実施の形態のレンズは条件（1）と（2）を略完全に満足したアプラナートであり、軸上収差と軸外収差はほぼ理想的に補正されているが、偏芯時の収差補正がやや不十分なためにこのような案分を行う。

【0076】このような基準によると、開口数が0.85のレンズにおいて、最大高さの光線の第1面への入射角が、好ましくは57度、より好ましくは56度、さらにより好ましくは55度より小さいことが必要である。なお、前記した条件（1）～（3）の案分による形状の変化は僅かである。

【0077】開口数が0.85より低い場合は、誤差に対する収差の増加が小さくなるため、同様に、好ましくは57度、より好ましくは56度、さらにより好ましくは55度以下であれば、十分良好なレンズ、すなわち前記条件（1）～（3）について良好なレンズを提供することできる。

【0078】ところで、本実施の形態のレンズを金型により成型して製作する場合、入射角は、金型の加工の難易度に直結している。したがって、入射角は、できるだけ小さいことが望ましい。

【0079】さらに、このような成型レンズでは、金型と成型品の間で高温化での成型プロセスに起因する成型収縮があり、成型品の形状は金型と微妙に異なる。したがって、開口数が0.85より低い場合は、開口数に応じて入射角を小さくした方が、製造する上で好都合である。

【0080】そこで、多数のレンズの設計を比較したところ、開口数が下がると、第1面の入射角 θ は、開口数が0.85の時の角度 α に対して、ほぼ次の関係が有ることを見出した。なお、 α は、実際に設計して得られた

値である。

$$\theta = \alpha - (0.85 - NA) / 0.15 \times 7.1 \text{ (度)} \quad \dots (6)$$

表1には、一例として、後述する実施例1の仕様を有するレンズに対する開口数と入射角の関係を示す。前記式(6)は、表1を用いて計算した回帰式である。

【0082】

【表1】

開口数	角度(度)
0.60	39.8765
0.65	43.0969
0.70	46.2232
0.75	49.1485
0.80	51.6474
0.85	53.2516

【0083】図3には、開口数と入射角の関係を図示して示す。 α は53.2516度である。図中の符号◆は実際の設計値を示し、実線は回帰式による値を示す。

【0084】また、図には、レンズの厚さが1.5mmで、硝材の屈折率が1.75のレンズに関する他の例のデータを示す。図中の符号▲は、他の例に対する実際の設計値を示し、破線は回帰式による値を示す。

【0085】いずれの場合も、回帰式は、実際の設計値を良く反映していることが見て取れる。なお、他の多数のレンズ設計データでも同様な結果が得られており、前*

$$\theta < \alpha - (0.85 - NA) / 0.15 \times 7.1 \text{ (度)} \quad \dots (7)$$

ここに、角度 α は、好ましくは57度、より好ましくは56度、さらにより好ましくは55度である。

【0091】ところで、上記したレンズは、偏芯公差は確保されたもの、条件(4)と(5)を未考慮であるため、色収差特性が確保できる十分条件を満たしていない。次に、色収差特性に関して詳しい説明をする。

【0092】ここで、レンズの軸上厚さと焦点距離が、次の式を満たす。

【0093】 $t > (1 + E) f$ ここに、 f は焦点距離、 t はレンズの軸上厚さであり、 E は、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらにより好ましくは0.2である。

【0094】上記関係を持つ場合、条件(4)と条件(5)の満足度が高まる。

【0095】まず条件(4)の波長誤差がある場合の各波長での最良像面の収差増加が小さいことに関しては、レンズの中心厚さが厚いほうがレンズ第1面(入射面)の半径を比較的大きくできるからである。より詳細には、第1面の曲率半径が大きくなると、レンズの外側の端部を通る光線の、レンズへの入射角 θ (レンズ面の法線と光線のなす角度)が小さくなり、これにより非線形現象としての屈折の効果が小さくなり、その結果として波長が変化した場合の球面収差の増加が少なくなるから

【0081】

*記回帰式(6)は、一般的な式として十分な精度を有している。

【0086】ここで、開口数が0.85より低い場合に対する角度の条件を求める。まず、開口数が下がると、当然レンズ最外周での面の傾き(第1面への入射角)は緩くなる。さらに、このために前記条件(1)～(3)に対する制限も緩くなるので、例えば製造公差も厳しくなくなる。

【0087】しかしながら、開口数が0.85より低い場合も、開口数が0.85の場合と同様に、第1面への入射角が増加するとともに収差特性が劣化するという一般的な特性を有する。

【0088】したがって、開口数が0.85より小さいレンズを開口径が0.85と同様に、好ましくは57度、より好ましくは56度、さらにより好ましくは55度以下の条件で設計すれば良好なレンズが出来る。さらに、開口数が低いことによる上記した有利さを加味して、回帰式が示す角度だけ設計の目標値を小さくすれば公差と性能を向上させることが出来る。

【0089】このことにより、開口数が0.85より低い場合は、次の条件式で決まる範囲に、第1面への入射角 θ を設定することで、さらによい結果が得られる。

【0090】

である。

【0096】図4は、レンズの中心厚さと、波長誤差(5nm)による残留収差の関係である。残留収差は球面収差である。この図は、NAが0.85で、焦点距離が2.5mmのレンズを多数設計して描いた。硝材は、オハラ製のLAM70である。またレンズ設計では、偏芯公差を比較的大きめにする設計を採用している。

【0097】図4によれば、レンズの厚さが、焦点距離より薄くなると、0.04 λ 以上と、大きな収差が発生することがわかる。また、厚さが焦点距離の1.2倍の3mm以下で収差の増加が大きいこともわかる。

【0098】次に、条件(5)の波長拡がりがある場合の収差増加に関しては、波長拡がりがある場合は、その拡がりに中心波長の最良像面を観測面とした場合、他の波長では、前述の球面収差に加えて、焦点誤差が発生する。実際には、球面収差に比べて焦点誤差の影響の方が大きい、特に、波長が0.45 μm 以下の場合、ガラスの屈折率の分散が大きくなるため、焦点誤差の影響が非常に大きくなる。

【0099】この焦点誤差は、波長が変化した場合の、レンズのバックフォーカス距離の変化に起因する。レンズのバックフォーカス距離 f_b は、近軸近似による光線追跡式で求めることが出来る。それが、 R_1 、 t 、 n と

次の関係式である。

【0100】 $f_b = f(1 - t(n-1)/n/R_1)$
ガラスの分散に応じて、 n を変化させた場合の、 f_b の値の差が、焦点誤差となる。

【0101】図5は、焦点距離が2mmで屈折率が1.75のレンズにおいて、ガラスの屈折率が1.7486に変化した場合の、 f_b の変化量を示している。 f_b の変化量は、軸上色収差である。また、この屈折率の変化は、アッペ数が45程度のガラスを、400nm付近の波長で用いた場合の、約5nmの波長変化時の屈折率変化に相当する。レンズ形状は平凸レンズであり、 R_1 は1.5mmである。現実のレンズは、平凸レンズではなく両面が球面とされている。より正確には非球面であるが、 f 、 f_b 等の近軸諸量は、頂点の半径で決まるので球面レンズとして問題はない。しかし、 f_b の変化は、焦点距離を保って R_1 と R_2 を変化させる、レンズのペンディングにあまり影響されず平凸レンズの場合と非常に近い結果になるので、図5により判断することで問題ない。図によれば、軸上色収差は、レンズの厚さに比例して小さくなる。したがって、レンズの厚さは出来るだけ厚いことが望まれる。

【0102】上記をまとめると、レンズの第1面での最大光線の入射角とレンズの厚さがこれらの条件を満たすと、前記条件(1)～(3)、すなわち、軸上色収差特性、軸外収差特性、偏芯公差による収差増加、さらに前記条件(4)、(5)、すなわち波長誤差による面収差と色収差が小さいレンズの条件を同時に満足することが出来る。

【0103】さらに補足すると、この非球面レンズは、光軸に対して回転対称なレンズ（共軸光学系）であっても、方向により僅かに非球面形状を変化させたトーリックレンズ（toric lens）のような形状であっても良い。後者の場合も、最大高さの光線が通る各点で、前記した*

面番号	面形状	半径	厚さ	屈折率	コーニック定数
1	非球面	1.71	2.75	1.85	-0.9168291
2	非球面	-75.9027	0.4605	—	2518.06
3	—	無限大	0.1	1.62230752	—
像面	—	—	—	—	—

【0113】第1面の非球面係数は、表4の通りである。

【0114】

【表4】

*範囲に入っている必要があるのは言うまでもない。

【0104】以下、本発明に係る光ディスク用対物レンズの実施例を示す。

【0105】実施例では、次のような多項式を用いて非球面を表す。

【0106】 $Z = CY^2 / (1 + (1 - (1 + K)C^2Y^2)0.5) + AR^4 + BR^4 + CR^8 + DR^{10} + ER^{12} + FR^{14}$

ここに、 Z は面の頂点からの距離、 Y は光軸からの高さ、 K はコーニック定数、 $A \sim F$ は4次から14次の非球面係数である。たとえば、 A は Y の4乗の係数に相当する。

【0107】＜実施例1＞図6は、実施例1の対物レンズの断面図である。

【0108】対物レンズ11に入射した光束Lは、第1面1と第2面2で屈折し、光ディスク21の第3面3と透過層を透過して信号記録面に集光される。

【0109】レンズ仕様は、表2の通りである。

【0110】

【表2】

設計波長	405nm
開口数	0.85
焦点距離	2mm
入射瞳直径	3.4mm
ディスク厚さ	0.1mm
結像倍率	0

【0111】レンズの設計値は、表3の通りである。なお、半径及び厚さの単位はmmである。以下でも同様である。

【0112】

【表3】

r の4乗の係数	0.013687371
r の6乗の係数	0.00087533585
r の8乗の係数	0.00087533585
r の10乗の係数	-0.00077467164
r の12乗の係数	0.00030433925
r の14乗の係数	$-5.3502493 \times 10^{-4}$

【0115】第2面の非球面係数は、表5の通りである。

【0116】

【表5】

rの4乗の係数	0.22363727
rの6乗の係数	-0.58889528
rの8乗の係数	0.72567392
rの10乗の係数	-0.47382503
rの12乗の係数	0.12985027

【0117】このレンズの第1面での最大高さの光線の入射角は53.25度である。このレンズは、条件(1)と(2)を略満足するアプラナートであり、条件(3)に僅かに誤差が残る。

【0118】波面収差については、軸上の波面収差は0.002λと小さく、実用上は無収差と言える値である。軸外0.5度の入射光線に対する波面収差は、0.023λと、良好な特性を有している。さらに、製造公差で重要な面間の偏芯に関しては、偏芯が3μmの時、波面収差0.036μmと非常に良好な値を有している。

【0119】図7は縦収差図であり、図8は正弦条件不満足量を示す図であり、図9は非点収差図である。

【0120】レンズの厚さは焦点距離の1.375倍である。このレンズの硝材は屈折率を固定して設計してあ*

面番号	面形状	半径	厚さ	屈折率	コーニック定数
1	非球面	1.45	2.5	1.75	-0.9753354
2	非球面	-3.613636	0.395	—	—
3	—	無限大	0.1	1.62230752	-188.2991
像面	—	—	—	—	—

【0127】第1面の非球面係数は、表8の通りである。

【0128】

【表8】

rの4乗の係数	0.023305393
rの6乗の係数	0.017039056
rの8乗の係数	0.0023431785
rの10乗の係数	-0.0023798936
rの12乗の係数	0.0013373117
rの14乗の係数	-0.00035090993

【0129】第2面の非球面係数は、表9の通りである。

【0130】

【表9】

*るが、波長が5nm変化した場合に相当する屈折率変化として、屈折率が1.8486となった場合の、最良像面における収差は0.01λと小さな値に押さえられている。また、軸上色収差の量は、2.17μmであり低く押さえられている。

【0121】＜実施例2＞図10は、実施例2の対物レンズの断面図である。

【0122】対物レンズ11に入射した光束Lは、第1面1と第2面2で屈折し、光ディスク21の第3面3と透過層を透過して信号記録面に集光される。

【0123】レンズ仕様は、表6の通りである。

【0124】

【表6】

設計波長	405nm
開口数	0.8
焦点距離	1.750mm
入射瞳直径	2.8mm
結像倍率	0

【0125】レンズの設計値は、表7の通りである。

【0126】

【表7】

rの4乗の係数	0.17601287
rの6乗の係数	-0.54949768
rの8乗の係数	0.50420582
rの10乗の係数	0.12942116
rの12乗の係数	-0.37309714

【0131】このレンズの第1面での最高高さの光線の入射角は、51.41度である。開口数0.8に対する条件(7)による角度は52.63度であるので、この条件を満足している。

【0132】このレンズは、条件(1)と(2)を略満足したアプラナートであり、条件(3)に僅かに誤差が残るが、軸上での波面収差は、0.001λと非常に小さく、実用上は無収差と言える。

【0133】入射角が0.5度の軸外収差は、波面収差が0.013λと良好な特性を有している。また、製造公差で重要となる面間の偏芯に関しては、偏芯が3μmの時、波面収差が0.023λと非常に良好な特性を有

している。

【0134】図11は縦収差図であり、図12は正弦条件不満足量を示す図であり、図13は非点収差図である。

【0135】レンズの厚さは焦点距離の1.429倍である。このレンズの硝材は屈折率を固定して設計してあるが、波長が5nm変化した場合に相当する屈折率変化として、屈折率が1.7486となった場合の、最良像面における収差は0.01λと小さな値に押さえられている。また、軸上色収差の量は、2.10μmであり低 *10

設計波長	405nm
開口数	0.85
焦点距離	2.2mm
入射瞳直径	3.74mm
ディスク厚さ	0.1mm
結像倍率	0

【0140】レンズの設計値は、表11の通りである。 ※【表11】

【0141】

※

面番号	面形状	半径	厚さ	硝材	コーニック定数
1	非球面	1.812171	3.104	NBF1	-0.3371789
2	非球面	-6.507584	0.500289	-	-845.6516
3	-	無限大	0.1	ポリカーボネート	-
4	像面	-	-	-	-

【0142】第1面の非球面係数は、表12の通りである。 ★【0143】

★

【表12】

rの4乗の係数	-0.00092006967
rの6乗の係数	-0.00025706693
rの8乗の係数	-0.00057872391
rの10乗の係数	0.0002222827
rの12乗の係数	-5.6787923×10 ⁻⁵

【0144】第2面の非球面係数は、表13の通りである。 ☆【0145】

☆

【表13】

rの4乗の係数	0.061448774
rの6乗の係数	-0.13995629
rの8乗の係数	0.12867014
rの10乗の係数	-0.043733069

【0146】各硝材の屈折率は表14の通りである。 ◆【表14】

【0147】

◆

NBF1	1.76775590
ポリカーボネート	1.62031432

【0148】このレンズの第1面での最高高さの光線の入射角は、55.0度である。

【0149】このレンズの特性は、ほぼ条件(1)を満足して、(2)は多少の不満足を残し、その分実施

*く押さえられている。

【0136】<実施例3>図14は、実施例3の対物レンズの断面図である。

【0137】対物レンズ11に入射した光束Lは、第1面1と第2面2で屈折し、光ディスク21の第3面3と透過層を透過して信号記録面に集光される。

【0138】レンズ仕様は、表10の通りである。

【0139】

【表10】

例1のレンズよりも、偏芯時の収差増加を抑えたレンズとなっている、そして、条件(3)には、僅かに誤差の残るアブラナートに非常に近いレンズである。

【0150】軸上での波面収差は、0.006λと非常

に小さく、実用は無収差と言える値である。軸外0.5度の入射光線に対する波面収差は、 0.069λ と良好な特性を示している。さらに、製造公差で重要な面間の偏芯に関しては、偏芯が $5\mu\text{m}$ の時に波面収差 0.034λ と、非常に良好な値を有している。

【0151】図15は縦収差図であり、図16は正弦条件不満足量を示す図であり、図17は非点収差図である。

【0152】レンズの厚さは焦点距離の1.411倍である。波長が 5nm 変化して 410nm になった場合の、最良像面における収差は 0.029λ と小さな値に押さえられている。また、軸上色収差の量は、 $2.21\mu\text{m}$ であり低く押さえられている。

【0153】なお、本実施の形態では、光ディスク用対物レンズについて具体的数値を用い説明したが、本発明はこれらの数値に限定されない。本発明は、本発明を逸脱しない範囲で種々の光ディスク用対物レンズに対して適用できる。

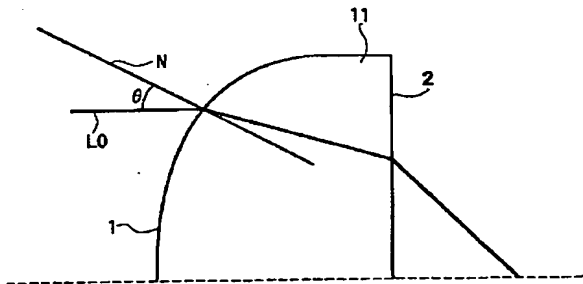
【0154】あえて数値の具体例を挙げると、本実施の形態においては、光ディスクには、例えば範囲 $0.01\sim 0.3\text{mm}$ の厚さの透過層を有するものを用いることができる。また、対物レンズには、例えばNBF1のような光学ガラスを用い、例えば $1.5\sim 2.0$ の範囲の屈折率を有するものを用いることができる。

【0155】

【発明の効果】上述のように、本発明によると、開口数が0.75以上で、軸上収差、軸外収差と面間の偏芯収差にすぐれた両面非球面の単レンズによる光ディスクの対物レンズを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】



【図1】レンズの幾何学的な関係を示す図である。

【図2】最大高さの光線の第1面への入射角度と収差特性の関係を示す図である。

【図3】実際の設計値と回帰式による値を比較して示す図である。

【図4】レンズの中心厚さと、波長誤差（ 5nm ）による残留収差の関係を示す図である。

【図5】焦点距離が 2mm で屈折率が1.75のレンズにおいて、ガラスの屈折率が1.7486に変化した場合の、 $f\#$ の変化量を示している。

【図6】実施例1の対物レンズの断面図である。

【図7】実施例1の対物レンズの縦収差図である。

【図8】実施例1の対物レンズの正弦条件不満足量を示す図である。

【図9】実施例1の対物レンズの非点収差図である。

【図10】実施例2の対物レンズの断面図である。

【図11】実施例2の対物レンズの縦収差図である。

【図12】実施例2の対物レンズの正弦条件不満足量を示す図である。

【図13】実施例2の対物レンズの非点収差図である。

【図14】実施例3の対物レンズの断面図である。

【図15】実施例3の対物レンズの縦収差図である。

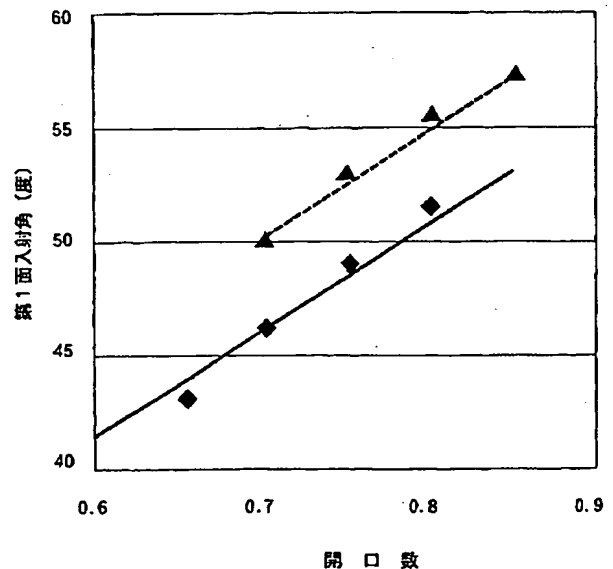
【図16】実施例3の対物レンズの正弦条件不満足量を示す図である。

【図17】実施例3の対物レンズの非点収差図である。

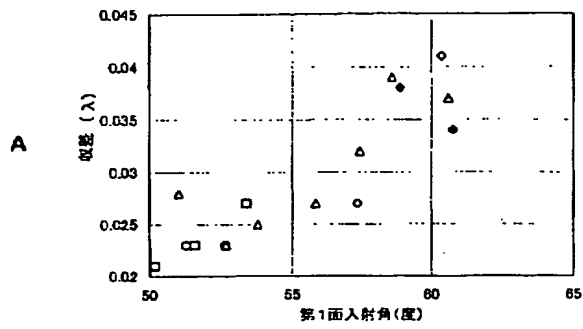
【符号の説明】

- 1 第1面
- 2 第2面
- 11 対物レンズ
- 21 光ディスク

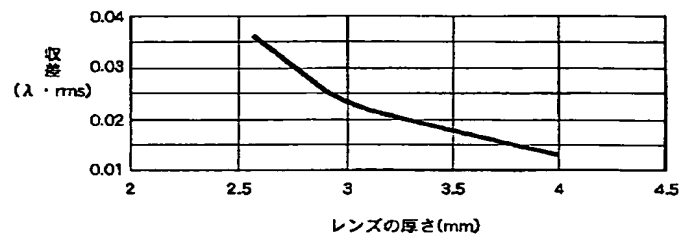
【図3】



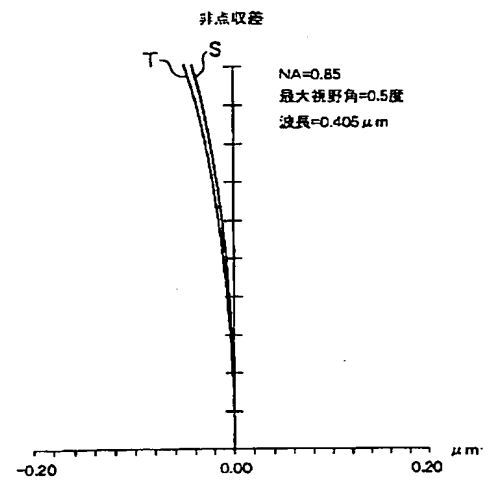
【図2】



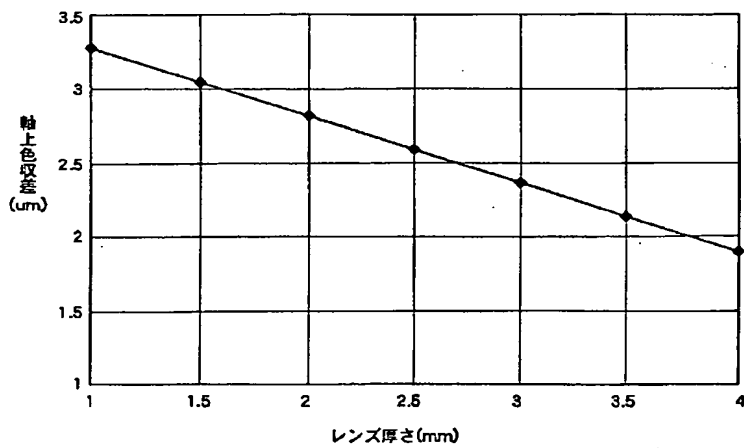
【図4】



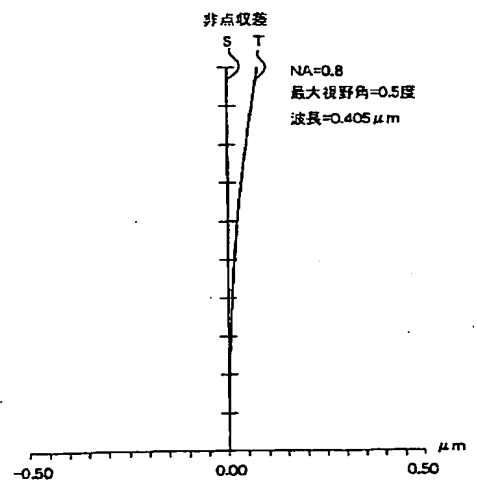
【図9】



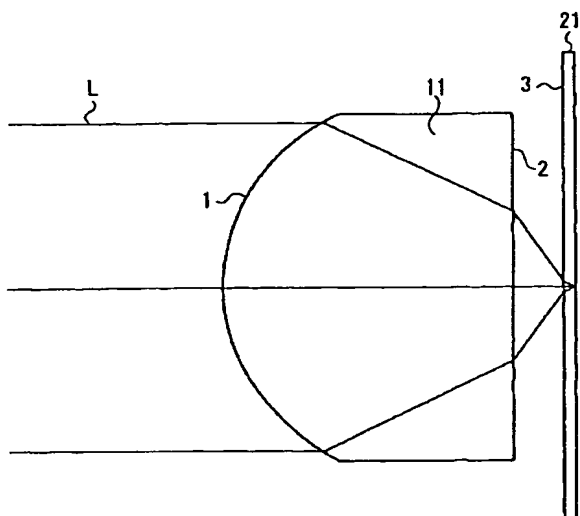
【図5】



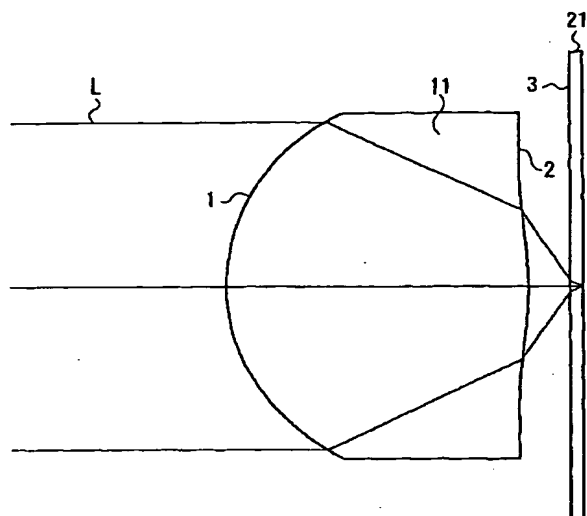
【図13】



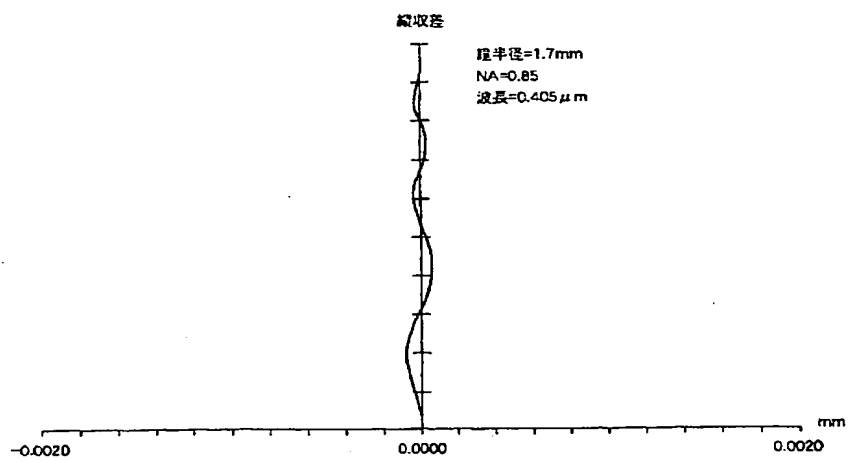
【図6】



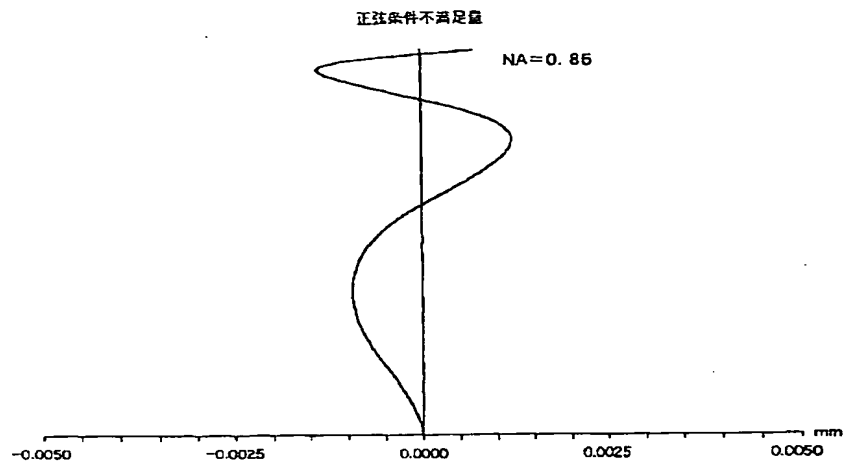
【図10】



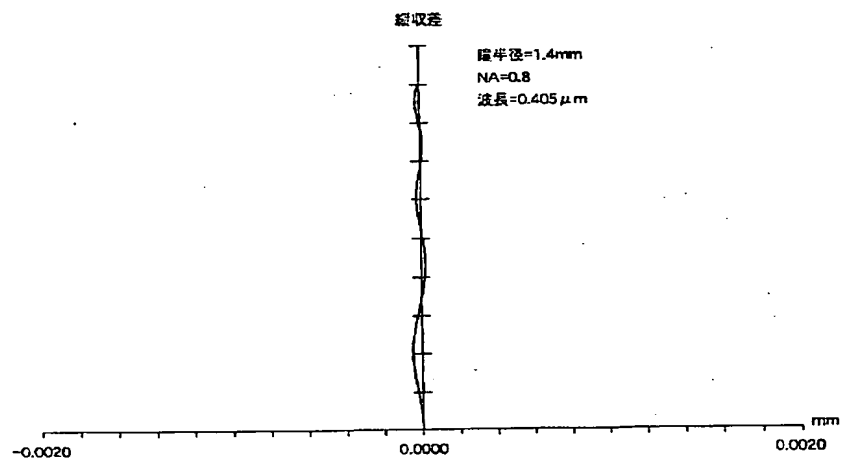
【図7】



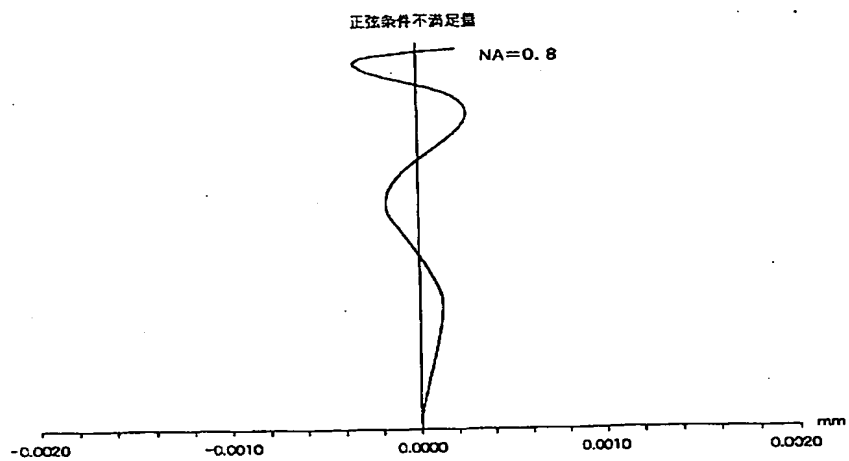
【図8】



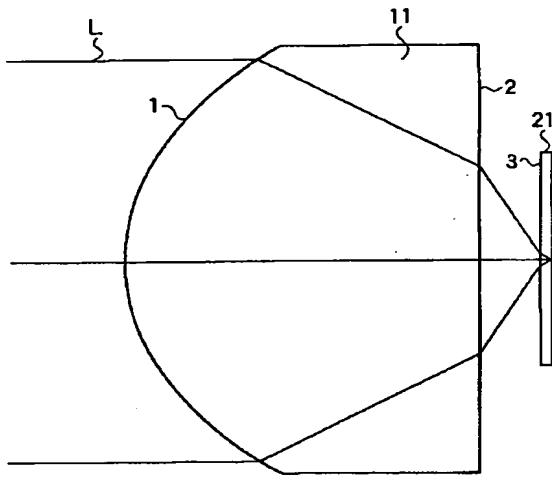
【図11】



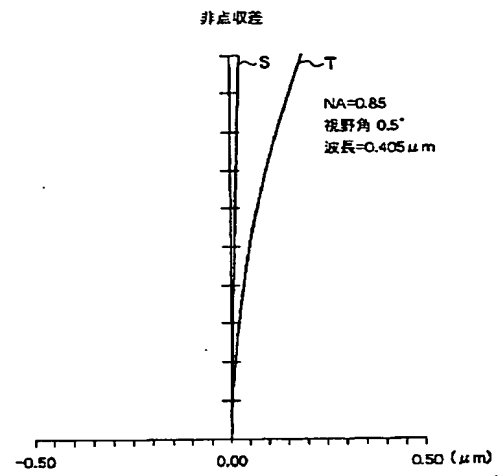
【図12】



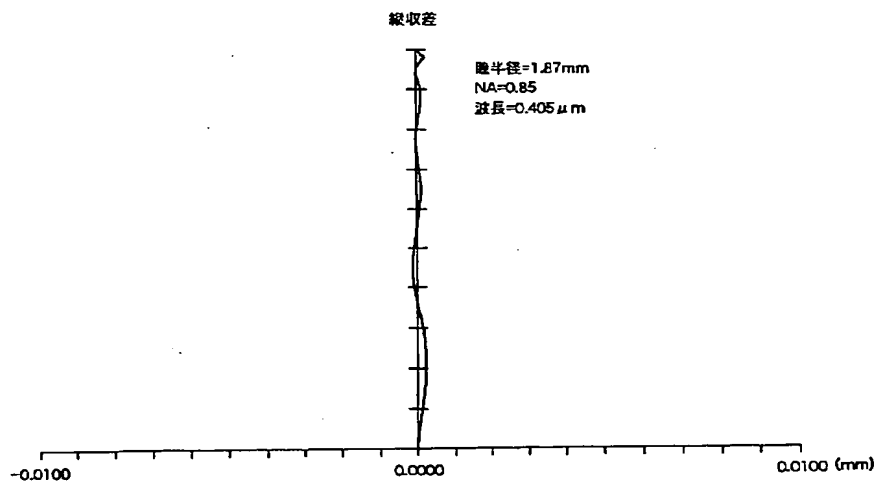
【図14】



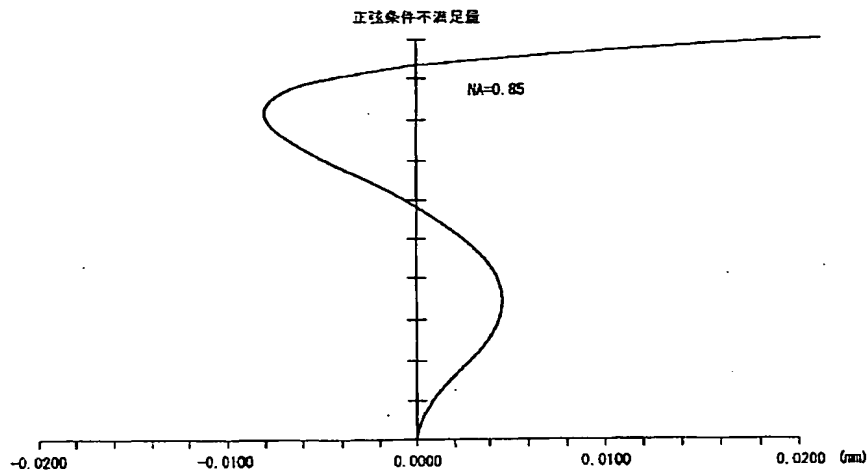
【図17】



【図15】



【図16】



【手続補正書】

【提出日】平成14年6月25日（2002. 6. 25）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 両面が非球面とされた開口数NAが0.75以上の単レンズであって、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角が57度以下であることを特徴とする光ディスク用対物レンズ。

【請求項2】 両面が非球面とされた開口数NAが0.75以上の単レンズであって、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角 θ が次式を満足することを特徴とする光ディスク用対物レンズ。

$\theta < \alpha - (0.85 - NA) / 0.15 \times 7.1$ (度)
ここで、 α は57度である。

【請求項3】 中心厚さ t と焦点距離 f が次の式を満たすことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光ディスク用対物レンズ。

$$t > (1 + E) f$$

ここで、 E は0以上の数である。

【請求項4】 結像倍率が0であることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の光ディスク用対物レンズ。

【請求項5】 前記光ディスク用対物レンズに入射される光源からの光の波長が450nm以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の光

ディスク用対物レンズ。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】

【発明を解決するための手段】上述の課題を解決するために、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数NAが0.75以上の単レンズであって、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角が所定の角度以下である。前記所定の角度は、57度が好ましく、56度がより好ましく、55度がさらに好ましい。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】削除

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】削除

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】また、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、両面が非球面とされた開口数NAが0.75以上

の単レンズであって、最大高さの光線が入射する点における第1面の法線と光軸の成す角 θ が次式を満足する。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正内容】

【0026】

$\theta < \alpha - (0.85 - NA) / 0.15 \times 7.1$ (度)
ここで、 α は、57度が好ましく、56度がより好ましく、55度がさらに好ましい。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正内容】

【0027】また、好ましくは、レンズの軸上厚さ t と焦点距離 f が次の式を満足する。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】 $t > (1 + E) f$

ここで、 E は、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらに好ましくは0.2である。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正内容】

【0029】さらに、好ましくは、本発明に係る光ディスク用対物レンズは、結像倍率が0である。すなわち、この対物レンズは、少なくとも誤差なく製造されていて、かつ光源の波長が基準波長と一致している場合、平行光を集光することが好ましい。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0076

【補正方法】変更

【補正内容】

【0076】このような基準によると、開口数 NA が0.85のレンズにおいて、最大高さの光線の第1面への入射角が、好ましくは57度、より好ましくは56度、さらに好ましくは55度より小さいことが必要である。なお、前記した条件(1)～(3)の案分による形状の変化は僅かである。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0092

【補正方法】変更

【補正内容】

【0092】ここで、レンズの中心厚さ(軸上厚さともいう)と焦点距離が、次の式を満たす。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0093

【補正方法】変更

【補正内容】

【0093】 $t > (1 + E) f$

ここで、 f は焦点距離、 t はレンズの中心厚さであり、 E は、0以上の数であり、好ましくは0、より好ましくは0.1、さらに好ましくは0.2である。